

情報構造化アーキテクチャの提案と サービスロボットのオンライン動作計画の実現

表 允哲^{*1}, 辻 徳生^{*2}, 橋口 優香^{*1}, 永田 晃洋^{*1}, 中島 洗平^{*1},
倉爪 亮^{*2}, 長谷川 勉^{*3}, 諸岡 健一^{*2}

Online Motion Planning for Service Robot using Informationally Structured Environment Architecture

Yoonseok Pyo^{*1}, Tokuo Tsuji^{*2}, Yuuka Hashiguchi^{*1}, Akihiro Nagata^{*1}, Kouhei Nakashima^{*1}, Ryo Kurazume^{*2}, Tsutomu Hasegawa^{*3}, Ken'ichi Morooka^{*2}

^{*1} Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
744 Motooka, Nishi-Ku, Fukuoka 819-0395, Japan

^{*2} Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
744 Motooka, Nishi-Ku, Fukuoka 819-0395, Japan

^{*3} Kumamoto National College of Technology, Koshi-Shi, Kumamoto 861-1102, Japan

Daily life assistance is one of the most important applications for service robots. For comfortable assistance, service robots must recognize the surrounding conditions correctly such as human motion, object position, obstacles, etc. However, with the current technology, it is almost impossible to recognize an environment of human daily life perfectly by a robot and sensors mounted on it due to the diversity and dynamic changes of the environment. To realize a service robot for dairy life assistance in current technology, we have been developing the informationally structured environment using distributed sensors embedded in the environment. This paper presents a new information management system for the informationally structured environment called ROS-TMS. This system enables to integrate various data from distributed sensors, store them to an online database, and plan service motion of a robot using real-time information about the surroundings.

Key Words : Informationally structured environment, Online motion planning, Service robot, Robot Operating System

1. はじめに

日常生活環境や介護施設、病院などで生活支援を行うサービスロボットの実現が期待されて久しい。例えば、日常的に発生し、介護士や看護師の負担となる日用品の手渡しや取り寄せ作業だけでもロボットが代行できれば、超高齢化社会の深刻な問題である介護施設での人手不足の解決の一助となる。

介護施設等の日常環境で生活を支援するロボットには、自己位置や周囲の状況(人、物品、壁などの位置や状態)を把握する機能が不可欠である。例えば、物品の取り寄せ作業では、対象物品がどこにあり、どの経路で取りに行くべきかを、ロボットが正確に把握する

必要がある。しかし、単体のロボットに搭載できるセンサの数や種類には限界があり、搭載したコンピュータの処理能力も限られる。また、センサにはそれぞれ固有の検出特性、すなわち計測可能な範囲や計測精度がある。さらに、生活空間は壁やドアで仕切られ、また同一室内でも様々な家具や什器が配置されているため、ロボットに搭載されたセンサの計測範囲は非常に限定的となる。さらに、ロボットに搭載されたセンサによる計測は、移動やそれに伴う振動の影響を受けるため、環境に固定されたセンサより処理が難しく、ノイズも多い。これらの理由から、ロボットが単体で環境状況を認識し、生活支援作業を自律的に行うことは、当面は実現が困難である。

この問題の解決策として、環境側にセンサ群を設置し、環境情報を構造化する試みが世界的に行われている^{(1)~(4)}。我々の研究グループでも、空間を知能化し、ロボットの作業を支援する環境情報構造化プラットフォーム(ロボットタウン)の研究開発を進めてい

^{*1} 九州大学大学院システム情報科学府(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地){pyo, hashiguchi, nakashima, a_nagata}@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

^{*2} 九州大学大学院システム情報科学研究院(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地){tsuji, kurazume, morooka}@ait.kyushu-u.ac.jp

^{*3} 熊本高専(〒861-1102 熊本県合志市須屋2659-2)hasegawa@kumamoto-nct.ac.jp

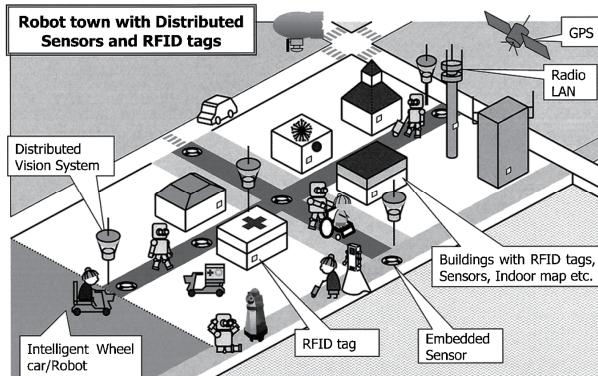


Fig. 1 Concept of Robot Town

る⁽⁵⁾。これは、環境に分散配置されたセンサ群により、環境内の移動体や物品の情報を取得し、環境構造を記述した地図情報とともに、情報管理機構であるタウンマネジメントシステム(TMS)で管理するものである⁽⁶⁾。ロボットはTMSにアクセスすることで、生活支援に必要な情報を取得できる(図1)。

我々は、これまでに(1)床上に設置したレーザレンジファインダ(LRF)を用いて、床上に現れる人の歩行軌跡、ロボット、家具什器、小物の配置変化を計測する床面センシングシステムを構築している⁽⁷⁾⁽⁸⁾。これは、レーザレンジファインダを床面上に1個設置するだけでよく、設置や保守のコストが低い。さらに、居住者の全身を撮像するカメラを使用しないため、プライバシーの確保ができる。また(2)床上センシングシステムによる居住者の生活行動モデルの構築と行動推定⁽⁹⁾、(3)慣性センサを用いた移動物体の追跡⁽¹⁰⁾、(4)圧力センサとRFIDタグを用いた知的収納庫⁽¹¹⁾、(5)レーザスキャナを用いた3次元環境構造計測システム⁽¹²⁾、(6)KinectなどRGBDカメラを用いた変化箇所の検出と物体識別⁽¹³⁾など、多くのセンシングシステムの開発を行っている。これらのシステムでは、レーザレンジファインダや慣性センサ、ロボット搭載ステレオカメラなど、環境に分散配置された様々な種類のセンサを組み合わせて、目的に応じた情報を抽出している。しかし、床面レーザレンジファインダは(1)～(3)でそれぞれ用いられるなど、各システムで同種のセンサが重複して利用されているにも関わらず、現状ではそれが個別に処理されており、お互いに連携されていない。また、これまでには、ロボットが実施するサービスごとに一連の動作を作成し、実行したので、新たなサービスを追加して提供する場合、全ての動作を再度作成する必要があった。

そこで本研究では、従来のTMSを拡張し、環境に配置された様々なセンサや処理アルゴリズムをネット

ワーク化し、相互に必要な情報をやり取りしあうことで効率的な処理を実現する、新たなTMS(ROS-TMS)を開発する。開発するシステムは以下の特徴を有するものとする。

- これまでに開発した様々なセンシングシステム(1)～(6)を効率的に実現
- 新たなセンサ、処理の追加が容易で柔軟性に優れる
- 様々なロボットサービスのための動作を管理し、新たなサービスの追加が容易
- 目的に応じてネットワークを組み変えるだけで、低コスト、短期間で導入可能で、幅広いスケーラビリティ、拡張性を有する

これらの実現には、センサ情報の受け渡しが柔軟に組み替え可能な情報ネットワークや、低価格なセンサノード、対象規模に応じて柔軟に構築可能なデータベース、信頼性に基づくセンサデータ間の整合性の確保、センサデータの分析と意味抽出、適切な作業計画の立案など様々な課題がある。本論文ではこのうち、1)従来のTMSを拡張した、環境情報の収集と保管及び提供のための新たな情報構造化アーキテクチャ、および2)それを利用したサービスロボットのオンライン動作計画システムについて述べる。また、システムの有効性を示すため、拡張したROS-TMSによるサービス実機実験の結果について報告する。

2. 新たな情報構造化アーキテクチャ(ROS-TMS)の提案

2.1 概要

従来のTMS⁽⁶⁾は様々なセンサから得られた情報を整理・解析する処理システムと、その情報を格納しロボットやユーザからの問い合わせに応じて出力するデータベースから構成されている。TMSが管理する情報は、人やロボット、センサの情報である「体」、建築構造物や什器などの「場」、物品や食品など人やロボットが日常生活で操作する「物」である。しかし、従来のTMSでは、データベース(MySQLサーバ)にアクセスするための専用APIがライブラリとして提供されており、新たに機能を追加する場合にはライブラリの再構築が必要で、拡張性、柔軟性に課題があった。そこで本研究では、従来のTMSの機能を継承し、ROS(Robot Operating System)⁽¹⁴⁾をベースに柔軟性、拡張性を実現するとともに、ユーザー命令、情報ネットワーク、低価格なセンサノード、サービスロボットの行動計画、タスクスケジューラー等の機能を追加した、新たな情報構造化アーキテクチャ(ROS-TMS)を開発する(図2)。新たなROS-TMSでは、上述した「体」「場」「物」に加えて、環境内の状態変化

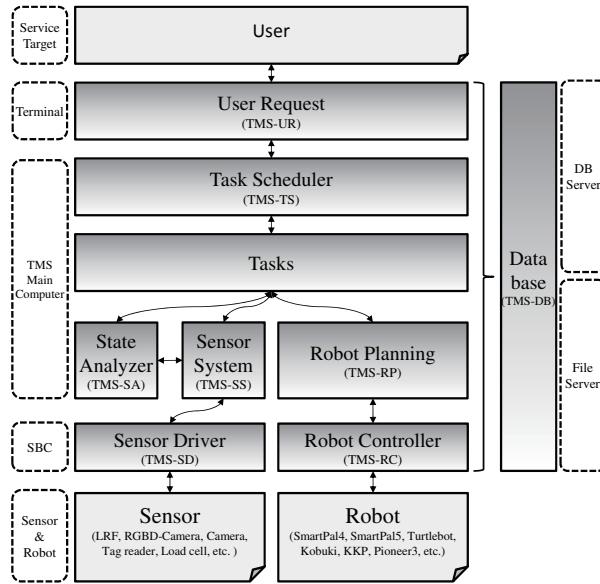


Fig. 2 New architecture of ROS-TMS

を表す「事」を追加し、静的な環境情報からロボットの動作計画、実行までを TMS が管理する。サービスの実行に必要な「場」や「物」の環境情報は、「体：センサ」を用いて取得、処理、保管するとともに、「体：人」からの要請に応じて、「体：ロボット」が「事」に基づき適切なサービスを提供する。

2.2 情報構造化アーキテクチャ ROS-TMS 新たな ROS-TMS では、分散配置されたセンサやセンサ情報を処理する各種モジュール間、データベース間の通信に ROS を利用する。ROS では、各種プロセスはノードと呼ばれ、複数のプロセス間で通信を行うメッセージ機能が提供されている。センサを含む新たな処理モジュールの追加は、それぞれ対応するノードを追加するだけよく、拡張性、柔軟性に優れている。また複数ノード間の柔軟なメッセージ機能をサポートしており、並列化も容易である。

例えば、分散配置されたセンサから取得されたデータは、センサドライバを含む処理モジュールから ROS のメッセージとして配信され、購読を希望するデータ解析用ノードにそれぞれ送信される。解析された情報は、同様に ROS のメッセージとしてデータ保存用ノードに配信され、データ保存用ノードは送り元とデータ形式から内容を分析し、データ到着時刻等の情報を付加後、MySQL の API を利用してデータベース上の適切なテーブルへ保存する。

従来の TMS では、TMS に新たなセンサや機能を追加する場合、すべてのライブラリの再構築が必要であった。また、センサから出力された情報の解析は、そのセンサが接続されている計算機上の单一プロセス

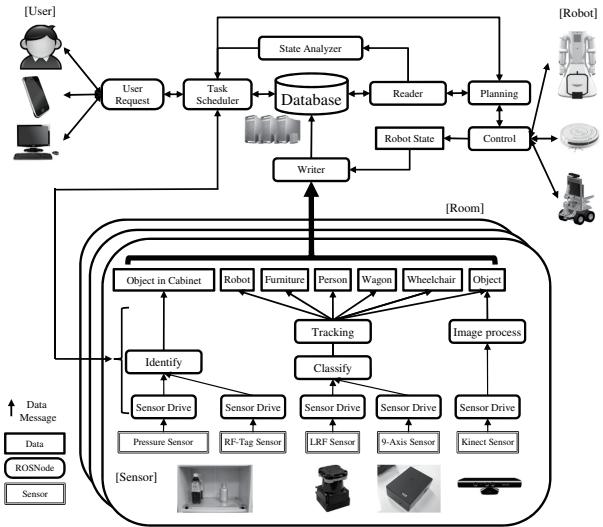


Fig. 3 Nodes in ROS-TMS

で実行していたため、解析処理が重くなるとリアルタイム性や計測データが失われる場合があった。これに対し、センサの出力を ROS のメッセージとして配信することで、センサの追加や新たな解析処理が必要な場合も、対応した処理ノードを追加すればよく、柔軟にシステムが構築できる。さらに複数のプロセスが同時にデータを受信したり、逆に複数のセンサ情報を 1 つのプロセスが受け取ることが容易であり、処理の並列化やパイプライン化が可能である。

図 3 は、室内環境におけるセンサ群とノード群の構成例である。圧力センサとタグリーダは知的収納庫に設置され、ドライバノードや物品識別ノードを通して物品の位置と種類をデータ保存用ノードに配信し、TMS データベースに保存する。レーザレンジファインダは床面上に設置され、ドライバノードのメッセージを識別ノードが受け取って、識別結果を他のノードに配信する。配信された識別結果は、例えば追跡ノードにより購読され、ロボット、家具、人や物品の移動を推定する。9 軸加速度・角加速度・地磁気センサは、ワゴンや車椅子など移動する什器に取り付けられ、レーザレンジファインダの情報と統合して、それらの位置を計測する。Kinect sensor は移動ロボットに取り付けられ、物体の識別と位置が計測される。TMS データベースに格納された情報は、状態解析ノードにより常に監視され、必要に応じてロボットにサービス提供を指示する。ロボットは動作計画ノードにより計画された動作を実行し、ユーザにサービスを提供する。

2.3 低コスト、並列処理、低メンテナンスネットワーク 開発中のシステムは、介護施設や病院など

の公共空間、あるいは住宅など日常生活空間での利用を想定しており、導入コストやメンテナンス費用などを十分に考慮する必要がある。そこで本研究では、導入コストを低減する手段として、各センサの制御装置を共通化し、携帯電話にも使われる ARM コアチップを用いた低価格 SBC (Single Board Computer) を利用する。さらにセンサ単体の処理を低減し、リアルタイム性を確保するため、複数のプロセスが ROS メッセージを同時に受信することで処理を並列化する。さらにメンテナンス性を高めるため、全システムのソース及び実行ファイルをソース管理ツールで一元的に管理する。全ハードウェアで常に同一の環境を提供することで、故障時の対応が容易になる。

2.4 ROS-TMS の構成要素 ROS-TMS の全体構成を図 2 に示す。ROS-TMS は以下のノード群からなる。

- TMS_DB: データベース本体と読み書きノード
- TMS_UR : ユーザーの要請を受け取り、TS に転送するノード
- TMS_TS : センサやロボットが行うタスクを管理するノード
- TMS_SD: レーザレンジファインダ、カメラ、RFID タグリーダなどのセンサデータを取得するノード
- TMS_SS : センサデータから人、ロボットの位置など高次の情報を生成するノード
- TMS_SA : 様々なセンサから得られた情報を元に環境の状態を推定するノード
- TMS_RP : ロボットの移動、把持、作業動作を計画するノード
- TMS_RC : 動作計画の通りロボットを制御するノード

User Request (TMS_UR), Sensor Driver (TMS_SD), Robot Controller (TMS_RC) は、人、センサ、ロボットと TMS のインターフェースであり、これらのインターフェースを通して情報をやり取りする。TMS_UR を通して得られるユーザーからの要請は Task Scheduler (TMS_TS) により管理され、Database (TMS_DB) からタスク情報を読み取り、Sensor System (TMS_SS), State Analyzer (TMS_SA) によるタスク実行に必要な情報の取得、分析や、Robot Planning (TMS_RP) による細分化されたロボット動作からサービス全体の動作計画を行い、Robot Controller (TMS_RC) を通してロボットに実行指定が送られる。

以下、それぞれのノード群について詳細に説明する。

2.4.1 Database (TMS_DB) TMS_DB は、データベース本体と、情報の書き込みを行う DB_Writer、情

報の読み出しを行う DB_Reader から構成される。データベース本体の実装には MySQL を用いており、現状では以下の情報が格納される。

- ロボットの形状や外観などの登録情報
- 環境埋込センサに関する情報
- 地図などの静的な環境情報
- 計測された移動体位置などの動的な情報

データベースへの挿入や更新には DB_Writer を、読み出しが DB_Reader を用いる。センサから出力される情報は 10Hz 以上で更新されるため、すべての情報を保存すると情報が重複して無駄が生じる。そのため、ロボットの移動量が少ない場合や収納庫内の物品が変化していない場合は、DB_Writer がデータベースへの挿入や更新を制限する。

2.4.2 User Request (TMS_UR) TMS_UR は、例えばリモコン、スマートフォン、タブレットなどを通して、ユーザからの手渡しや取り寄せ等のサービス要請を受け取り、TMS_TS に ROS メッセージとして配信する。

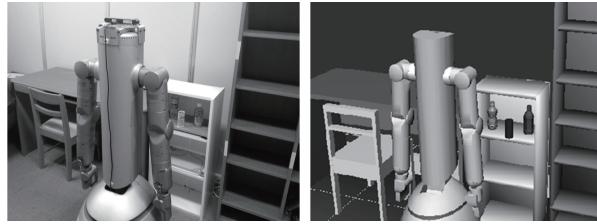
2.4.3 Task Scheduler (TMS_TS) TMS_UR から配信されたロボットサービスの実行管理を行う。ロボットサービスの実行、中断、再開、失敗した場合の再スケジューリング等の機能を有する。

2.4.4 Sensor Driver (TMS_SD) センサのドライバであり、本システムで利用しているレーザレンジファインダ、RGBD カメラ、カメラ、RFID タグリーダ、ロードセルなどを起動し、センサデータを取得する。

2.4.5 Sensor System (TMS_SS) 様々な環境センサ (TMS_SD) から取得したセンサデータを解釈し、より高次の環境情報を出力する。現状では、レーザレンジファインダを用いて床上の物体を検出する FSS(Floor sensing system)、FSS の情報から人の行動を推定する BAS(Behavior analyze system)、RFID タグリーダとロードセルを用いた知的収納庫 ICS (Intelligent Cabinet System) の 3 種類から構成される。

2.4.6 State Analyzer (TMS_SA) TMS_DB から取得した情報を基に、状況の検出と状態推定、タスク指令生成を行うノードである。推定結果は、ロボットサービスの実行依頼として TMS_TS に送信する。現状では、人により移動・放置された物体を追跡する、物品情報維持サービスが実装されている。これは、人による知的収納庫からの物品取り出しを検出し、人が部屋から退出するまでの歩行軌跡から、物品が放置された可能性が高い家具を推定し、物品探索サービスの実行依頼を TMS_TS に送信するものである。

2.4.7 Robot Planning (TMS_RP) TMS_DB からの情報の基づき、障害物を避けながらロボットを動



(a)Robot and objects in the real world (b)Models in simulation

Fig. 4 Status information updating using ROS-TMS

作させる動作計画を行う。また、その出力である経由点をロボットの前進・回転などのプリミティブ動作に変換する。これらを組み合わせてサービス動作を記述することにより、ロボットサービスを提供する。

2.4.8 Robot Controller (TMS.RC) TMS.RPによる計画に従いタスクを実行する。現状では SmartPal VI, SmartPalV(安川電機), Turtlebot(Willow Garage)用のノードが実装されている。

3. ロボットサービスのオンライン動作計画システム

本章では、前章で示した新たな情報構造化アーキテクチャROS-TMSを用いた、サービスロボットのオンライン動作計画システムについて述べる。本システムでは、環境内にレーザレンジファインダ、RFIDタグリーダ、ロードセルなどを配置して、人、ロボット、物品などの情報を取得し、環境情報の変化に応じてデータベース情報を更新する。また、移動、把持、手渡し動作など、ロボットサービスにおいて再利用性が高い動作の組をサブタスクとして細分化、データベースに格納し、作業内容に応じてサブタスクを組み合わせて全体のサービス動作を計画する。

3.1 環境情報を用いたモデルの更新と動作計画 ロボットの動作計画にはgraspPlugin⁽¹⁵⁾を用いる。graspPluginはハンド・アームを有するロボットシステムに対して、把持計画、軌道計画、作業計画など、種々の計画問題を解くためのソフトウェアであり、ロボット3DシミュレータであるChoreonoid⁽¹⁶⁾のプラグインとして利用できる。本システムでは、ChoreonoidとgraspPluginを拡張してTMSの動作計画に利用する。graspPluginではロボット、家具、物品などのモデルを使用し、モデルベースで計画を行う。

本システムでは、動的に変化する環境情報も反映した、実時間のモデルベース動作計画を実現するため、ROSネットワークを用いてROS-TMSとChoreonoidを連携するインターフェースを追加する。環境側のセンサ群から得られた情報や状態分析ノードから得られた統合情報は、TMSデータベースに格納している。こ

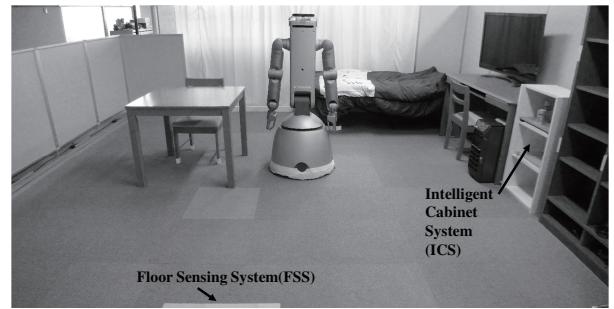


Fig. 5 Experimental setup

れらの環境情報を受信してChoreonoid内のモデルと関連付け、実時間で人、ロボット、物品、家具などの状態を更新する。一例を図4に示す。これによりシミュレータを実世界情報と一致させ、実世界を反映したロボットのオンライン動作計画を実現する。

3.2 ロボット動作の細分化 ロボットの動作は提供するサービスによって違うが、異なるサービスでも共通のプリミティブ動作があり、再利用性が高い動作が存在する。そこでロボットサービスにおいて再利用性が高い移動(move), 把持(grasp), 持つ(take), 渡す(give), 初期位置(init)などをサブタスクとして定義し、ChoreonoidのgraspPluginを用いて実装し、データベースに登録する。動作を細分化することで、作業内容を変えてもサブタスクの組み合わせで全体動作を計画でき、また異なるロボットでも同じ機能を有していればサブタスクを再利用できる。

4. 実験

4.1 実験環境 提案する情報構造化アーキテクチャROS-TMSを実装し、システムの動作検証実験を行った。実験環境を図5に示す。

部屋内には環境固定センサとしてレーザレンジファインダと知的収納庫が設置されている。サービスロボットにはSmartPal V(安川電機)を用い、頭部にKinectカメラを、手先にRFIDタグリーダを備えている。全ての物品にはRFIDタグが貼り付けており、知的収納庫にはペットボトルや缶など様々な物品が格納されている。

4.2 シナリオの詳細 本実験では、人により持ち込まれた物体の登録とロボットによる物体取り寄せサービスについて検証する。本シナリオでは、室内の人の行動データを収集・蓄積し、データベースを更新するとともに、物品データを確認し、ロボットの動作計画と物品取り寄せサービスを実行する。人の入室後は常に屋内の状況分析を行い、人が物の取り渡せの命令をした後でロボットサービスを開始する。人の行動、

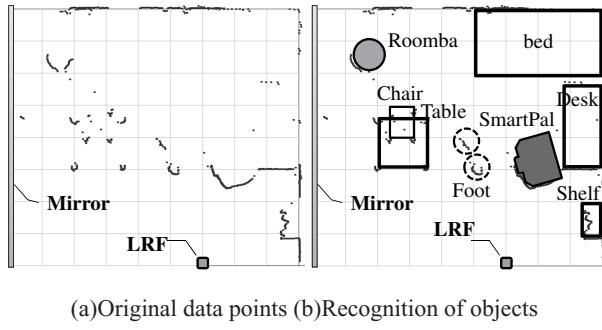


Fig. 6 Original LRF data and recognized objects

室内の状況分析内容、ロボットの動作を以下に示す。

1. 部屋に入室し、棚へ向かう
2. 棚に飲料をいれる、物品情報を用いてデータベースの情報を更新する
3. ベッドに上がる
4. タブレットで物の取り寄せサービスを依頼する
5. タスク実行
6. ロボットの移動
7. 把持
8. 持つ
9. 移動
10. 渡す
11. 終了

4.3 使用したセンサノード

4.3.1 FSS：フロアセンシングシステム⁽⁸⁾ 床上 2.5cm を走査するレーザレンジファインダ (TopURG, 北陽電機) と鏡、およびその処理モジュール群で構成される。レーザレンジファインダと鏡から、床上に物体がないときは壁までの、物体があるときはその表面までの距離と反射強度を取得する。さらに、レーザレンジファインダから得られる情報に対して、反射強度を用いた識別処理や、数十フレーム分の蓄積情報を用いた追跡処理を行うことで、床上にある物体を以下の 4 種類に分類する⁽⁹⁾。

- ロボットの座標と姿勢
- 椅子の座標
- 人の足の座標
- それら以外の不明な物品の座標

室内での取得データの例を図 6 に示す。この例ではロボットや椅子、人の足が正確に識別されている。

4.3.2 BAS：人の行動推定⁽⁹⁾ FSS で取得した椅子と人の足の位置、ベッドの位置を利用して、人の状態推定を行う。分類される状態は、退室、歩行、立位静止、椅子付近静止、椅子着座、ベッド着座、ベッド上(休息)の 7 状態である。

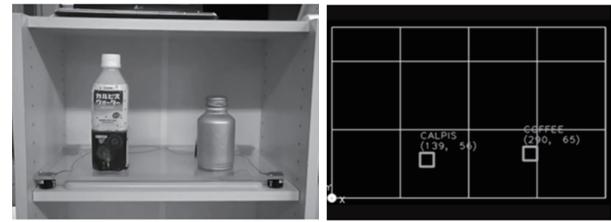


Fig. 7 Position measurement using RFID-tag

4.3.3 ICS：知的収納庫⁽¹¹⁾ RFID タグリーダとロードセルを用いた収納庫で、収納された RFID タグ付き物品の種類と位置、重さを出力する。収納物品の検出の様子を図 7 に示す。

4.4 実験結果 実験中の部屋内の様子と Chreonoid による表示結果を図 8 に示す。

図 8 に示すように、日常生活で人の行動、物の移動、ロボットの移動などが床面センシングシステムや知的収納庫により適切に検出されている。人のサービス要請は、TMS_TS がサブタスクに分解し、Chreonoid によりそれぞれの動作計画を行う。ロボットは計画されたサブタスクを順次実行することで、物品取り寄せに成功している。

5. まとめ

本論文では、これまでに開発している TMS に対し、柔軟性、拡張性を強化した新たな情報構造化アーキテクチャ ROS-TMS を提案し、実際に ROS-TMS を用いた物品登録、取り寄せ実験を行った。

本システムの特徴を以下に示す。

1. ROS のメッセージを用いることで、新たなセンサや処理の追加、処理並列化、パイプライン化が容易となった
2. 各センサの制御装置を低価格 SBC により共通化し、低価格化、メンテナンス性の向上を実現した
3. ロボットによるサービス動作を細分化、共通化し、データベースで管理することで再利用性を向上した
4. センサ情報を実時間で反映可能なシミュレータを構築し、オンライン動作計画を実現した

今後は対応可能なサービスの種類や、ロボットの種類、台数を増やし、様々な要求に応じた適切なサービスを適応的に提供できるシステムの開発を目指す。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B) (課題番号 23360115) の支援を受けた。

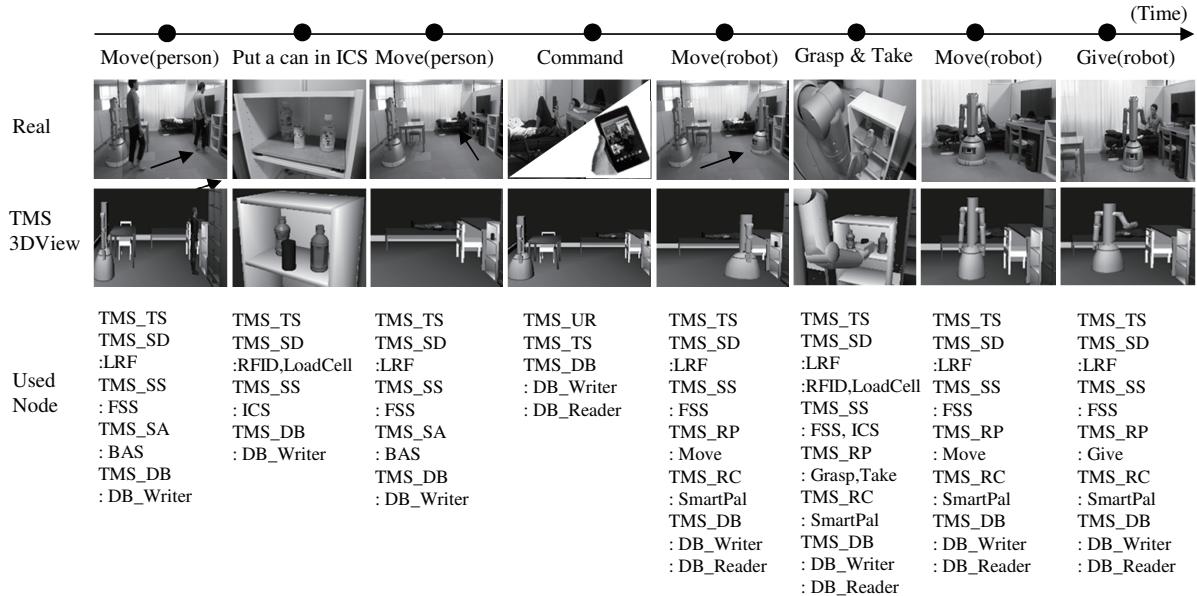


Fig. 8 Experimental results

参考文献

- (1) H. Noguchi, T. Mori, T. Sato, "Automatic Generation and Connection of Program Components based on RDF Sensor Description in Network Middleware", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2008-2014, 2006.
- (2) Y. Kato, T. Izui, Y. Tsuchiya, M. Narita, M. Ueki, Y. Murakawa, K. Okabayashi, "RSi-cloud for integrating Robot Services with internet services", IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 2158-2163, 2011.
- (3) H. Gross, Ch. Schroeter, S. Mueller, M. Volkhardt, E. Einhorn, A. Bley, Ch. Martin, T. Langner, M. Merten, "I'll keep an Eye on You: Home Robot Companion for Elderly People with Cognitive Impairment", IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.2481-2488, 2011.
- (4) M. Tenorth, A.C. Perzylo, R. Lafrenz, M. Beetz, "The RoboEarth language: Representing and exchanging knowledge about actions, objects, and environments", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1284-1289, 2012.
- (5) 長谷川勉, "環境プラットフォーム「ロボットタウン」", 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.05, pp.411-414, 2008.
- (6) 村上剛司, 長谷川勉, 木室義彦, 千田陽介, 家永貴史, 有田大作, 倉爪亮, "情報構造化環境における情報管理の一手法", 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.02, pp.192-199, 2008.
- (7) 長谷川勉, 野原康伸, 村上剛司, "生活環境における日用品情報構造化のための床面センシングシステム", 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.09, pp.1144-1147, 2010.
- (8) 表允智, 田中真英, 長谷川勉, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮, "レーザレンジファインダの反射強度を利用した物体及びロボットの位置計測", 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 1H3-1, pp.587-591, 2012.
- (9) 長谷川勉, ピヨユンソク, 田中真英, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮, "床上センシングシステムを用いた生活環境における移動物体の位置計測と居住者の行動推定", 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.08, 2013.
- (10) 森達則, 田中真英, 辻徳生, 村上剛司, 長谷川勉, 諸岡健一, 倉爪亮, "加速度センサと床上レーザレンジファインダを用いた複数移動物体の位置同定", 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 1A1-R04, 2012.
- (11) K. Murakami, T. Hasegawa, Y. Nohara, B. Ahn, R. Kurazume, "Position Tracking System for Commodities in a Daily Life Environment", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3712-3718, 2010.
- (12) 倉爪亮, 戸畠享大, 村上剛司, 長谷川勉, "CPS-SLAM の研究-大規模建造物の高精度 3 次元幾何形状レーザ計測システム-", 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.8, pp.1234-1242, 2007.
- (13) 桑畠舜也, 長谷川勉, 諸岡健一, 倉爪亮, 辻徳生, "情報構造化環境における家具上物品検出のための移動ロボットによる視覚記憶の照合と変化検出", 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013.
- (14) M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, A.Y. Ng, "ROS: an open-source Robot Operating System", ICRA workshop on open source software, Vol.3, No.3.2, 2009.
- (15) 辻徳生, 原田研介, "graspPlugin for Choreonoid", 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.03, pp.232-235, 2013.
- (16) 中岡慎一郎, "拡張可能なロボット用統合 GUI 環境 Choreonoid", 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.03, pp.226-231, 2013.